

University of Groningen

## Laser treatment of metals

Noordhuis, Joeke

**IMPORTANT NOTE:** You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

*Document Version*

Publisher's PDF, also known as Version of record

*Publication date:*

1993

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

*Citation for published version (APA):*

Noordhuis, J. (1993). Laser treatment of metals. s.n.

**Copyright**

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

**Take-down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

## Samenvatting

### Inleiding

Vanaf het moment dat de mensheid in staat is metaal te produceren en te bewerken, heeft zij geprobeerd de kwaliteit ervan te verbeteren. Dit onderzoek wordt voornamelijk gedreven door economische motieven: verliezen door wrijving en slijtage zijn aanzienlijk en omgekeerd evenredig met de kwaliteit van het materiaal. Afgezien van economische motieven echter, bieden nieuwe materialen met specifieke eigenschappen de mogelijkheid om nieuwe producten te ontwerpen.

De methoden die vroeger gebruikt werden, waren voornamelijk gebaseerd op het optimaliseren van de compositie of op het geven van de juiste temperatuursbehandeling (zoals het afschrikken van staal in water om het te harden). Omdat moderne analysetechnieken steeds meer inzicht bieden in de mogelijkheden deze produktiemethoden te verbeteren, vinden materiaalverbeteringen tegenwoordig nog steeds op deze manier plaats.

Het zal duidelijk zijn dat deze conventionele technieken op een gegeven moment volledig uitgebuit zijn en dat verdere verbeteringen alleen kunnen plaatsvinden na toepassing van meer geavanceerde technieken. Onder de technieken waaraan tegenwoordig gewerkt wordt bevinden zich o.a. nitreren, vlamspuiten, diverse depositieprocessen, poeder- en lasermetallurgie. Deze nabehandels- en produktiemethoden hebben specifieke voor- en nadelen en kunnen niet naar algemene toepasbaarheid gerangschikt worden.

De belangrijkste overeenkomsten die recent ontwikkelde technieken onderscheiden van conventionele technieken zijn: ze hebben alleen effect op het oppervlak van het materiaal (zodat de resulterende bulk- en oppervlakte-eigenschappen verschillend kunnen zijn) en/of het zijn 'snelle' technieken waarbij het uiteindelijke materiaal niet in thermodynamisch evenwicht is. De eerst genoemde eigenschap maakt het mogelijk dat eenvoudige en goedkope materialen van een slijtage- en corrosievaste oppervlaktelaag kunnen worden voorzien. De laatst genoemde eigenschap maakt het ondermeer mogelijk dat materialen gemaakt kunnen worden met een compositie die buiten het evenwichtsfasediagram ligt. Deze materialen konden vroeger niet worden geproduceerd en bezitten mogelijk bijzondere eigenschappen.

Dit proefschrift rapporteert op welke wijze met behulp van een hoog vermogen CO<sub>2</sub>-laser slijtvaste oppervlaktelagen kunnen worden geproduceerd. Bij toepassing van deze relatief nieuwe techniek wordt een metaaloppervlak door een gefocusseerde infrarode laserbundel afgetast. De hoge vermogensdichtheid veroorzaakt een lokaal smeltbad aan het oppervlak van het metaal. Nadat de laserbundel gepasseerd is, treedt een zeer snelle stolling en afkoeling op. De diepte van het smeltspoor en de afkoelsnelheid worden voornamelijk bepaald door proces-variabelen zoals vermogensdichtheid en interactietijd, en zijn typisch in de orde van respectievelijk 0.1 mm en 10<sup>4</sup> graden per seconde. De snelle stolling en afkoeling veroorzaakt

in het algemeen een zeer fijne verdeling van de eventueel aanwezige intermetallische verbindingen en/of een hoge concentratie van legeringselementen in vaste oplossing. De verkregen structuren vertonen vaak sterk verbeterde slijtage- en corrosie-eigenschappen.

Omdat deze techniek het werkstuk slechts lokaal beïnvloedt, biedt zij tevens de mogelijkheid om verschillende materiaaleigenschappen te combineren, zowel met betrekking tot de coördinaat loodrecht op, als parallel aan het oppervlak. Diezelfde lokale behandeling echter, veroorzaakt ook dat gedurende het afkoelen hoge trekspanningen kunnen ontstaan. Deze trekspanningen hebben vervolgens weer een negatieve invloed op slijtage- en corrosie- vermoeiingseigenschappen.

Het primaire doel van dit onderzoek is na te gaan hoe deze trekspanningen voorkomen of gereduceerd kunnen worden. Nieuwe aspecten daarbij zijn de nabehandeling van het laser-gesmolten materiaal met twee andere technieken; namelijk ionenimplantatie en shotpeening. Shotpeenen of kogelstralen is het mechanisch vervormen van een materiaal door dit langdurig te bestralen met kleine kogeltjes. Het basisidee is dat deze nabehandelingen in staat zijn drukspanningen op te wekken.

Karakterisering van het resultaat van een dergelijke gecombineerde behandeling wordt gedaan m.b.v. (transmissie elektronen) microscopie, röntgendiffractie en mechanische testtechnieken. De twee eerst genoemde technieken leveren informatie over de eventuele aanwezigheid, type en concentratie van precipitaten, alsmede over de dislocatiedichtheid, de exacte compositie en de restspanningstoestand. Vervolgens worden de resultaten van deze meer geavanceerde technieken gecombineerd met hardheids- en slijtagemetingen, zodat meer inzicht verkregen wordt in de mechanismen die de eigenschappen van de verkregen oppervlaktelaag bepalen. Met behulp van deze kennis kan optimalisering van de gekozen materialen en procesparameters plaatsvinden. De resultaten kunnen als volgt worden samengevat:

#### **Ionenimplantatie**

Het effect van neonimplantatie werd onderzocht in drie verschillende staalsoorten:

- ☐ laser behandeld Fe-Cr-C staal (RCC)
- ☐ laser behandeld Fe-C staal (CK22)
- ☐ roestvast Fe-Cr-Ni staal (304)

Het laatste niet-laserbehandelde staal werd gekozen als modelmateriaal voor alle staalsoorten die na lasersmelten (meta-stabiel) austenitisch zijn.

Neon implantatie in laserbehandeld staal  
verklaring is gebaseerd op  
spanningstoestand (1200 MPa)

Implantatie in laserbehandeld staal  
slijtageweerstand afnemen. N  
en dislocaties verhinderd, do  
sterke interactie onderling. B  
tijdens de laserbehandeling;  
restspanningen even hoog op

In het geval van 304 staal we  
de slijtage toe. Bij deze staal  
siet-transformatie waargenon  
feite de uitgestrektheid en de  
van de transformatie bepalen  
echter gemakkelijk tijdens s

#### **Shotpeening**

Omdat ionenimplantatie het  
werd dit materiaal ook als uit  
verbetering bestond uit het v  
naar 1200 MPa druk. Hierd  
worden voorkomen. Een a  
weerstand met een factor  
siet-transformatie in meta-

In het laatste gedeelte van h  
behandeling op twee laser

In het geval van een eutect  
een sterk verbeterde stru  
gedurende het shotpeene  
precipitaten werden gevo  
van de toename van de h  
ningstoestand.

Wanneer een aluminium  
worpen, hangt het resul  
snelheden werd een ve  
afkoelsnelheid en de da

Neon implantatie in laserbehandeld RCC staal bleek het meest effectief te zijn. De fysische verklaring is gebaseerd op dislocatie-neonbel interacties en een reductie van de trekspanningstoestand (1200 MPa na laserbehandeling).

Implantatie in laserbehandeld CK22 staal verhoogt de hardheid wel enigszins, maar doet de slijtageweerstand afnemen. Na laserbehandeling wordt een sterke interactie tussen neonbellen en dislocaties verhinderd, doordat een zeer hoge dislocatiedichtheid al zorg draagt voor een sterke interactie onderling. Bovendien treedt in dit materiaal een martensiet-transformatie op tijdens de laserbehandeling; de hierdoor veroorzaakte volumevermeerdering voorkomt dat de restspanningen even hoog oplopen als in het RCC staal.

In het geval van 304 staal werd ook een toename van de hardheid gevonden, maar ook hier nam de slijtage toe. Bij deze staalsoort werd echter, boven een kritische dosis, tevens een martensiet-transformatie waargenomen. Uit de experimenten bleek dat de bel-grootte en bel-druk, in feite de uitgestrektheid en de grootte van het bijbehorende schuifspanningsveld, het startpunt van de transformatie bepalen. De op deze manier gevormde (brosse) martensietlaag delamineert echter gemakkelijk tijdens slijtageprocessen.

### **Shotpeening**

Omdat ionenimplantatie het meest succesvol bleek in het geval van laserbehandeld RCC staal, werd dit materiaal ook als uitgangspunt gebruikt voor de shotpeen experimenten. De verrassende verbetering bestond uit het volledig inverteren van de restspanningstoestand van 1200 MPa trek naar 1200 MPa druk. Hierdoor kon het regelmatig optreden van oppervlaktescheuren volledig worden voorkomen. Een andere belangrijke verbetering was het verhogen van de slijtageweerstand met een factor 2. Net als de neon implantatie induceert shotpeening een martensiet-transformatie in meta-stabiele austenitische stalen.

In het laatste gedeelte van het proefschrift wordt aandacht besteed aan het effect van een shotpeen behandeling op twee laserbehandelde aluminium legeringen: Al-Si en Al-Cu-Mg (Al 2024).

In het geval van een eutectische aluminium silicium legering werd al direct na laserbehandeling een sterk verbeterde structuur waargenomen. Meest in het oog springend was echter dat gedurende het shotpeenen, door het silicium dat zich in vaste oplossing bevond, kleine precipitaten werden gevormd. Dit uitte zich in een verdere toename van de hardheid. Afgezien van de toename van de hardheid leidde shotpeenen ook in dit geval tot een gunstige restspanningstoestand.

Wanneer een aluminium-koper-magnesium legering aan een laserbehandeling wordt onderworpen, hangt het resultaat sterk af van de gebruikte laser- aftast-snelheid. Bij hoge aftast-snelheden werd een verhoogde hardheid geconstateerd ten gevolge van de hoge stol- en afkoelsnelheid en de daarbij behorende microstructuur, terwijl bij lage aftast-snelheden een

verhoogde hardheid in verband moest worden gebracht met een lange homogeniseringstijd gedurende de laserbundel-materiaal interactie. Electronenmicroscopisch werden, afhankelijk van de aftast snelheid, helix dislocaties en precipitaten waargenomen. Opnieuw werden tijdens het shotpeenen precipitaten gevormd bij alle onderzochte aftast snelheden.

### Conclusie

De belangrijkste conclusie van dit proefschrift is dat door het gebruik van lasers, de kwaliteit van metaaloppervlakken sterk verbeterd kan worden. Een simpele techniek zoals shotpeenen blijkt een groot nadeel van lasersmelten, namelijk het ontstaan van trekspanningen, volledig te kunnen opheffen. Een verrassend aspect is tevens dat deze nabehandeling aanleiding geeft tot een fijnschalig precipitatieproces, waardoor de mechanische eigenschappen nog verder verbeteren. Tot slot dient een belangrijk voordeel van deze combinatie van technieken te worden benadrukt i.v.m. industriële toepassingen: beide behandelingen lenen zich uitstekend om sequentieel in een geautomatiseerd productieproces te worden opgenomen.

### Nawoord

Nu na  $4\frac{1}{4}$  jaar het moment gek

personen bedanken die voor d  
kijken op een plezierige perio

Het startschot werd gelost do  
creatieve en enthousiaste beg  
van het onderzoek wees. Teve  
steun in de RuG.

De afgelopen periode hebben  
De eerste stap was in het alg  
door Klaas Post en Oomke  
weggesmolten was. Eventue  
respectievelijk Minte Mulder

Voor hulp bij het prepareren  
mij klaar. Deze heren waren  
"moeilijke" foto's en/of teke

Van mijn kollega Benno v  
Röntgen-diffractometer losp  
nenmicroscopie. Hij en Jam  
te springen als de apparatuur  
waren te interpreteren, kwa  
soortgelijke waarneming in

Als de voorafgaande hande  
eindelijk samengevat konde  
Hosson voor een verzorgd

Tijdens wetenschappelijke  
ook wil bedanken: Rudi Ha  
aan laser behandelde prepa  
met Ton van Veen, kunnen  
van Dik Boerma en Peter  
Hoewel ook deze resultate  
met plezier gedurende enk

In de afgelopen periode hel  
Ton de Boer, Poppo Wit, I  
Pol, Johannes Boersma en